

## OFFENLEGUNGSSCHRIFT

Int.Cl.<sup>6</sup>:

FEDERAL REPUBLIC

OF GERMANY

DE 196 44 918 A1

G 02 B 6/35



File:

196 44918.9

Application Date:

10/29/1996

Laid Open Date:

4/30/1998

GERMAN

PATENT OFFICE

**Applicant:**CDMS Mikrosysteme GMBH Chemnitz, 09577  
Niederwiess, DE**Agent:**Krause, W., Dr.-Ing.  
Faching.f.Erfindungswesen, Pat.-Anw., 09648  
Mittenweids**Inventor:**Rauch, Manfred, Dr.-ing., 09114  
Chemnitz, DE;  
Merkert, Joachim, Dr.-Ing., 09119  
Chemnitz, DE;  
Schmidt, Karsten, 09131 Chemnitz, DE  
Hartig, Carsten, 08393 Meerens, DE

The following information is taken from the documents submitted by the applicant.

Examination request is provided according to § 44 of the German patent code.

(54) Micromechanical optical switch

(57) The invention relates to a micromechanical optical switch.

In contrast to known solutions, data in the form of optical signals can easily be switched bidirectionally not only from 1-to-1 but also from 1-to-n, n-to-1 or n-to-n with one and the same arrangement. Furthermore, the embodiment in micromechanical design allows for a small construction with very short switching times and therefore high switching frequencies. For this purpose, a first and at least a second device influencing the light beam are arranged, each in a plane, one on top of the other between two cover plates. One of the devices influencing the light beam consists of at least one pivoted flat mirror. Between them in the region of the mirror is an optically free passage. Optical fibers are placed in grooves on the edges.

## Description

The invention relates to a micromechanical optical switch.

Optical switches can be found in the state of the art, for example, in the documents, DE OS 37 42 553 on a light- and, in particular, laser-beam device and method as well as laser-workplace systems and DE OS 40 29 569 on a fiber-optical switch.

These arrangements, however, represent only 1-to-n couplings.

EP 0 153 243 also includes a switch for optical fibers. In this case, an optical element, which is positioned in the beam path between the ends of the optical fiber and the mirror, is moved along a linear path in such a way that the light beam is redirected in the optical element, reflected by the mirror and redirected a second time in the optical element and the light beam is thereby guided to the next optical fiber.

Disadvantages of this arrangement are, first of all, the moving optic and, secondly, that optical fibers can only be connected at a specified separation from one another. A free choice of the form 1-out-of-n is not possible.

Optical switches are described in the publications, DE OS 36 08 135, DE OS 37 16 836, DE OS 40 40 001 and DE OS 42 21 918. In these, various movable mirrors are employed as on/off switches for a fixed ordering of optical fibers. A freely selectable ordering from a number of optical fibers is not possible.

The invention presented in Claim 1 is based on the problem of bidirectionally distributing, mixing, separating and/or switching optical information with a micromechanical component.

This problem is solved with the characteristics listed in Claim 1.

The advantages attained with the invention consist particularly in that the data of optical signals can easily be switched bidirectionally not only from 1-to-1 but also from 1-to-n, n-to-1 or n-to-n with one and the same arrangement. The embodiment in micromechanical design allows the small construction with very short switching times and therefore high switching frequencies.

The layered construction facilitates an economical construction since the individual layers can be produced as functional planes using preparation technologies primarily known from microelectronics.

The layered structure for the optical arrangements that influence the light beam enables a universal construction according to the requirements set for the component. In this way, bidirectional switching structures of the form 1-to-1, 1-to-n, n-to-1 or n-to-n can be realized with one and the same device. The pivoted flat mirror or mirrors are realized as electrodes so, with appropriately designed counter-electrodes placed on the cover plates and an appropriate control unit, a tilting is realized. An additional drive mechanism for the pivoted flat mirror or mirrors is not needed.

Advantageous embodiments of the invention are given in the Claims 2 through 11.

The alternate embodiment of Claim 2 comprises a simple construction of the micromechanical optical switch with the switching possibilities, 1-to-n, n-to-1 or n-to-n, with n equaling the number of attached optical fibers. In addition, this solution has low optical losses for the light beam in transmission. If several such micromechanical optical switches are arranged in a plane, the result is a compact construction of several micromechanical optical switches that can be driven individually or in conjunction via optical interconnections.

The alternate embodiment of Claim 3 guarantees a uniform separation of the optical fibers from the prism.

A simple and economical construction using known and mature technologies of microelectronics is carried out in the alternate embodiments of Claims 4 through 6. The pivoted flat mirrors can be arranged not only as a  $p \times p$  matrix but also in an arbitrary  $p \times q$  ratio to one another, where p and q are the number of pivoted flat mirrors per side of the micromechanical optical switch. The number of pivoted flat mirrors thereby determines the switching ratio, 1-to-1, 1-to-n, n-to-1 or n-to-n, with n being equal to the number of optical fibers coupled with the micromechanical optical switch.

Micromechanical switches of a construction such as this are easy to stack so that, by having one or more optical connection between the micromechanical optical switches below one another, the switching possibilities, 1-to-n, n-to-1 or n-to-n, can be essentially increased in respect to individually constructed micromechanical optical switches.

In positioning the pivot axis of the pivoted flat mirror in the symmetry axis of the optical fiber and thereby in the symmetry axis of the light beam, the result is a simple mounting of the planes arranged one under the other. As a result, with regard to the surfaces of the pivoted flat mirrors lying one on top of the other, not only do their centers align but also, when their dimensions are equal, they lie congruently above one another. The optical fibers on the edges of the optical switch can thereby be used both as

sending as well as receiving elements. Corrections in the position of the light beam to the individual optical fibers are not required. By the arrangement of more than two planes with pivoted flat mirrors, a symmetric redirection of the light beams to the cover plates is produced.

Furthermore, only three switching states of the pivoted flat mirrors are required, so that control is essentially simplified. The three switching states are characterized by the states of being tilted relative to one another or not tilted.

The ridges on the cover plates corresponding to the alternate embodiments of Claims 7 and 8, simplify the control of the pivoted flat mirrors.

A simple realization of the pivoted flat mirrors using known and mature technologies of microelectronics makes the alternate embodiments of Claims 9 and 10 possible.

With the alternate embodiment of Claim 11, the pivot space of the pivoted flat mirrors up to the cover plates is given automatically so that it is not necessary to provide additional spacing frames for free pivoting over an angular range of 0 to 45°. Assembly expenses are simultaneously reduced.

Two embodiments of the invention are presented in the figures and described in more detail in the following.

It shows:

Fig. 1 Micromechanical optical switch with a one-piece optic and a pivoted flat mirror,

Fig. 2 Top view of the micromechanical optical switch presented in Fig. 1,

Fig. 3 Switch with two planes and 3 x 3 pivoted flat mirrors per plane, and

Fig. 4 Explosion view of the arrangement in Fig. 3.

A first embodiment of the micromechanical optical switch (1) consists essentially of a one-piece optic (3), as the first device influencing the light beam, in the first plane and the pivoted flat mirror (6), as the second device influencing the light beam, positioned one on top of the other and between the two cover plates (2a and 2b) (representations of Fig. 1 and 2).

The one-piece optic (3) sits in a spacing frame (9). The light beam arrives at the one-piece optic (3) by way of two or more optical fibers (10) arranged in a plane. For this purpose, the optical fibers (10) are guided into grooves matching each other found in one of the cover plates (2a) and the spacing frame (9). The separation of the optical fibers (10) continuously decreases in the direction of the one-piece optic (3) and

terminates directly at the latter. This surface of the one-piece optic (3) is formed to be circular and arching outward toward the optical fibers (10). Through this measure, the ends of the optical fibers (10) have the same distance from the center of the one-piece optic (3).

This space itself contains, in the first place, a totally reflective prism (4) and, in the second place, a lens (5). The light beam, after exiting one of the optical fibers (10) strikes the totally reflecting prism (4) and is deflected off this at an angle of  $90^\circ$  in the direction of the second device influencing the light beam. In this direction, the surface of the one-piece optic (3) is a lens (5). The pivoted flat mirror (6) is positioned in the focal point of this lens (5). For this purpose, the spacing frame (9) has an opening as optical passage (12) from the first device influencing the light beams to the second device influencing the light beams.

The pivoted flat mirror (6) is suspended in a frame (8) surrounding it by two torsion bars positioned centrally on opposite edges. The frame (8) as well as the pivoted flat mirror is prepared from a silicon sheet. The pivoted flat mirror (6) and the torsion bars (7) are etched out from a sacrificial layer and the remaining region of the silicon sheet itself acts as the support for the pivoted flat mirror and furthermore acts as spacer from the cover plate (2b) so that the pivoted flat mirror (6) can pivot freely against the cover plate (2b).

The pivoted flat mirror (6) has an area of  $3 \times 3 \text{ mm}^2$ . The pivot axis of the pivoted flat mirror (6) thereby lies perpendicular to the symmetry axis of the arched surface of the one-piece optic (3) on which the optical fibers (10) terminate. With the swiveling of the pivoted flat mirror (6), the light beam striking it is directed through the lens (5) and the totally reflecting prism (4), e.g., to the optical fibers (10) next to that from which the light beam exited.

The pivoted flat mirror (6) itself constitutes an electrode. On the cover plates (2b) arranged parallel to the pivoted flat mirror (6), there are two counter-electrodes (11a and 11b). These are positioned in correspondence to the edges of the pivoted flat mirror (6) running parallel to the symmetry axis of the pivot axis. With such an arrangement, it can be electrostatically controlled so that it can be pivoted in accordance with the potential on the electrodes.

The electrodes, in the form of the pivoted flat mirrors (6) and the counter-electrodes (11a and 11b), are connected with appropriate contacts on the

micromechanical optical switch (1) by way of electrical leads, so that the micromechanical optical switch (1) can be electrically connected from the exterior.

The other ends of the optical fibers (10) are connected with optical sending and/or receiving devices.

A second embodiment of the micromechanical optical switch (1) characterizes itself in that the first and the second device influencing the light beam consists of pivoted flat mirrors (6) arranged in the form of a matrix (Fig. 3 and 4).

A matrix in this embodiment contains 3 by 3 pivoted flat mirrors (6). These are supported on a surrounding frame (9) and two parallel-running strips (13). Thereby, each three pivoted flat mirrors (6) are found in sequence between frame (8) and strip (13) or between two strips (13). The free space between the pivoted flat mirrors (6) serves, at the same time, for optical transmission. The distances between the pivoted flat mirrors are equal. The pivoted flat mirror itself is connected with the frame (8) or the strip (13) by torsion bars (7) centrally attached onto opposite edges. The size of a pivoted flat mirror (6) is  $1.4 \times 1.4 \text{ mm}^2$  with a thickness of  $30 \text{ }\mu\text{m}$ . The entire matrix is part of a silicon sheet, where the pivoted flat mirrors (6) including the torsion bars (7) represent part of a sacrificial layer and are etched out. The part of the silicon sheet surrounding the pivoted flat mirrors (6) represents the frame (8) and the strips (13) and simultaneously form part of the spacing frame (9).

Two matrices constructed in this way are arranged with an additional spacing frame (9) positioned between them in such a way that the symmetry lines of the pivot axes of the pivoted flat mirrors (6) are orthogonal to one another and each two pivoted flat mirrors (6) lie congruently facing one another.

Further spacing frames are found between the combined matrices and each of the cover plates (2a and 2b) over the pivoted flat mirrors (6). The spacing frames can be eliminated if the cover plates (2a and 2b) have appropriate recesses so that the pivoted flat mirrors can be freely pivoted from 0 to at least  $45^\circ$ . The frames or the cover plates (2a and 2b) have grooves arranged in accordance with one another in which the ends of the optical fibers (10) with attached graded-index lenses are placed.

The symmetry axes of the optical fibers (10) are perpendicular to the symmetry axes of the pivot axes of the pivoted flat mirrors (6), which are, furthermore, placed along the symmetry axes of the optical fibers (10). The light beam has a diameter of 0.8 to 1.0 mm and the pivoted flat mirror is  $30 \text{ }\mu\text{m}$  thick, so that, if the light beam passes through

when the pivoted flat mirror (6) has not been swiveled, its thickness is insignificant. This reduction of the light beam is altogether negligible.

With a construction of the matrix of this kind, three optical fibers (10) can be connected on each side and therefore twelve optical fibers (10) altogether can be connected on the micromechanical optical switch (1) and can thereby be switched, mixed or separated.

The other ends of the optical fibers (10) are connected with optical sending and/or receiving devices.

The pivoted flat mirrors (6) are realized as electrodes. On the cover plates (2a and 2b) are found two counter-electrodes (11a and 11b) per pivoted flat mirror (6). These are positioned in correspondence to the edges of the pivoted flat mirror (6) running parallel to the symmetry axis of the pivot axis. With such an arrangement, they can be electrostatically controlled so that the pivoted flat mirrors (6) can be pivoted in accordance with the potential on the electrodes.

The electrodes, in the form of the pivoted flat mirrors (6) and the counter-electrodes (11a and 11b), are connected with appropriate contacts on the micromechanical optical switch (1) by way of electrical leads, so that the micromechanical optical switch (1) can be electrically connected from the exterior.

#### Claims

1. Micromechanical optical switch, characterized in that a first and at least a second device influencing light beams are arranged, each in a plane one on top of the other, between two cover plates (2a and 2b), that the second device influencing light beams is a pivoted flat mirror (6), that there is a spacing frame between the first and the second device influencing light beams, that, between the first and the second device influencing light beams in the region leading to the one or more pivoted flat mirror (6), there are an equal number of optically free passages (12), that grooves are made in the cover plates (2a and 2b), in the spacing frames (9) and/or in the planes of the first and second devices influencing laser beams in such a way that optical fibers are placed in them, that the pivoted flat mirrors (6) are realized as electrodes and that there are at least two electrodes (11a and 11b) arranged parallel to the mirror edges on the [cover plates (2a and 2b)] parallel to the pivoted flat mirrors (6).

2. Micromechanical optical switch according to Claim 1, characterized in that the first device influencing light beams is at least one one-piece optic (3) in the form of a prism (4) with integrated lens (5), that at least two ends of the optical fibers (10) guided along the grooves terminate on the one-piece optic (3), that the lens (5) is positioned orthogonal to the optical fibers (10) and to the second device influencing light beams, that the second device influencing light beams in the form of the pivoted flat mirror (6) is positioned in the beam path so that the pivot axis is located in the symmetry axis of the optical fiber (10), that the pivoted flat mirror represents an electrode and that, for each edge of the pivoted flat mirrors parallel to the symmetry axes of the pivot axes, there is a counter-electrode (11a and 11b) running parallel to it on the cover plate (2b) oriented parallel to the mirrors.

3. Micromechanical optical switch according to Claim 2, characterized in that a one-piece optic is formed arching outward toward the optical fibers and that the relative separation of the grooves from the one-piece optic continuously decreases.

4. Micromechanical optical switch according to Claim 1, characterized in that the first device influencing light beams consists of at least one arrangement for which a pivoted flat mirror (6) is positioned between two opposing ends of light-guiding devices in such a way that the symmetry axes of the light beams and the pivot axis of the pivoted flat mirror (6) are coplanar, that the second device influencing light beams is at least one similar arrangement, that, relative to the former, the latter is positioned under rotation of  $90^\circ$  in the plane so that the centerpoint of the pivoted flat mirrors (6) in one symmetry axis and the unrotated pivoted flat mirrors are parallel to each other, that the light-guiding devices on the edges in the form of optical fibers (10) are connected with sending and/or receiving devices by way of graded-index lenses (14), that there are spacing frames (9) between the first and the second devices influencing light beams, that the first and the second device influencing light beams are between two cover plates (2a and 2b), that the pivoted flat mirrors represent electrodes, that, for each edge of the pivoted flat mirrors parallel to the symmetry axes of the pivot axes, a counter-electrode (11a and 11b) is positioned running parallel to it on the cover plate (2a and 2b) oriented parallel to the mirrors and that the spacing frames and the cover plates (2a and 2b) contain grooves for the light-guiding devices.

5. Micromechanical optical switch according to Claim 4, characterized in that several arrangements, in which a flat mirror that can pivot on an axis running



perpendicular to the beam path is positioned between two opposing ends of the light-guiding devices in such a way that the symmetry axis of the light beam and the pivot axis of the pivoted flat mirror (6) are coplanar, are arranged in series and parallel and that on the edges there are optical fibers (10) optically connected via graded-index lenses (14) with sending and/or receiving devices.

6. Micromechanical optical switch according to Claim 4, characterized in that there are the same number of arrangements, in which a flat mirror that can pivot on an axis running perpendicular to the beam path is positioned between two opposing ends of the light-guiding devices in such a way that the symmetry axis of the light beam and the pivot axis of the pivoted flat mirror (6) are coplanar, as first and second devices influencing light beams and that on the edges there are optical fibers (10) optically connected via graded-index lenses (14) with sending and/or receiving devices.

7. Micromechanical optical switch according to Claim 4, characterized in that spacers are located on the cover plates (2a and 2b) corresponding to the edges of the pivoted flat mirrors running parallel to the pivot axis.

8. Micromechanical optical switch according to Claim 7, characterized in that the height of the spacers is equal to the separation of the edges parallel to the pivot axis of the pivoted flat mirrors (6) in the state of being tilted at an angle of  $45^\circ$  relative to the cover plates (2a and 2b) and the [plane of the] cover plates (2a and 2b).

9. Micromechanical optical switch according to Claims 1 through 6, characterized in that the pivoted flat mirror (6) is connected with a frame (8) surrounding the pivoted flat mirror by way of two torsion bars (7) centrally positioned on opposite edges or that the pivoted flat mirror (6) is connected with parallel oriented strips (13) by way of two torsion bars (7) centrally positioned on opposite edges.

10. Micromechanical optical switch according to Claim 9, characterized in that the pivoted flat mirror or mirrors (6), the torsion bars (7), the frame (8) and the parallel oriented strips (13) is a semiconductor sheet provided and structured with layers.

11. Micromechanical optical switch according to Claim 10, characterized in that the frame is a sacrificial layer of the semiconductor sheet and that the pivoted flat mirror or mirrors and the torsion bars (7) are part of the sacrificial layer.

DE 196 44 918 A 1

---

3 page(s) of figures are appended

---



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

①2 **Offenlegungsschrift**  
①0 **DE 196 44 918 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 02 B 6/35**  
G 02 B 26/02  
G 02 B 26/08

②1 Aktenzeichen: 196 44 918.9  
②2 Anmeldetag: 29. 10. 96  
④3 Offenlegungstag: 30. 4. 98

DE 196 44 918 A 1

⑦1 Anmelder:  
CMS Mikrosysteme GmbH Chemnitz, 09577  
Niederwiesa, DE  
  
⑦4 Vertreter:  
Krause, W., Dr.-Ing. Faching.f.Erfindungswesen,  
Pat.-Anw., 09648 Mittweida

⑦2 Erfinder:  
Rauch, Manfred, Dr.-Ing., 09114 Chemnitz, DE;  
Markert, Joachim, Dr.-Ing., 09119 Chemnitz, DE;  
Schmidt, Karsten, 09131 Chemnitz, DE; Hartig,  
Carsten, 08393 Meerane, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Mikromechanische optische Schalteinheit

⑤7 Die Erfindung betrifft eine mikromechanische optische Schalteinheit.

Gegenüber bekannten Lösungen können Informationen in Form von optischen Signalen sowohl einfach bidirektional von 1 auf 1 als auch von 1 auf n, n auf 1 oder n auf n mit ein und derselben Anordnung geschaltet werden. Weiterhin ermöglicht die Ausführung in mikromechanischer Bauart einen kleinen Aufbau bei sehr geringen Schaltzeiten und damit hohen Schaltfrequenzen. Dazu sind zwischen zwei Deckplatten eine erste und mindestens eine zweite Lichtstrahlen beeinflussende Einrichtung je in einer Ebene übereinander angeordnet. Eine der Lichtstrahlen beeinflussende Einrichtung besteht aus mindestens einem plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel. Dazwischen befindet sich im Bereich zu dem Einzelspiegel ein optisch freier Übergang. In Gräben an den Rändern sind Lichtleiter platziert.

DE 196 44 918 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine mikromechanische optische Schalteinheit.

Optische Schalter sind unter anderem in den Schriften DE OS 37 42 553 Licht-, insbesondere Laserstrahlvorrichtung und -Verfahren sowie Laserarbeitsplatzsystem, DE OS 40 29 569 Faseropischer Schalter zu finden.

Diese Anordnungen stellen allerdings nur 1 auf n-Verknüpfungen dar.

Die EP 0 153 243 beinhaltet ebenfalls einen Schalter für Lichtwellenleiter. Dabei wird ein optisches Element, das im Strahlengang zwischen den Enden der Wellenleiter und dem Spiegel angeordnet ist, auf einer geradlinigen Bahn so bewegt, daß der Lichtstrahl im optischen Element abgelenkt, über den Spiegel reflektiert und im optischen Element ein zweites Mal abgelenkt und damit der Lichtstrahl auf den übernächsten Wellenleiter geführt wird.

Nachteile dieser Anordnung stellen zum einen die bewegte Optik dar und zum anderen können nur Wellenleiter in einem festen Abstand zueinander verbunden werden. Eine freie Auswahl der Form 1 auf n ist nicht möglich.

In den Veröffentlichungen DE OS 36 08 135, DE OS 37 16 836, DE OS 40 40 001 und DE OS 42 21 918 werden optische Schalter beschrieben. Dabei kommen jeweils bewegliche Spiegel als Ein-/Ausschalter bei fester Zuordnung der Wellenleiter zum Einsatz. Eine frei wählbare Zuordnung aus einer Vielzahl von Wellenleitern ist nicht möglich.

Der im Patentanspruch 1 angegebenen Erfindung liegt das Problem zugrunde, optische Informationen über ein mikromechanisches Bauelement bidirektional zu verteilen, mischen, entmischen und/oder schalten.

Dieses Problem wird mit den im Patentanspruch 1 aufgeführten Merkmalen gelöst.

Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, daß die Informationen optischer Signale sowohl einfach bidirektional von 1 auf 1 als auch von 1 auf n, n auf 1 oder n auf n mit ein und derselben Anordnung geschaltet werden können. Die Ausführung in mikromechanischer Bauart ermöglicht einen kleinen Aufbau bei sehr geringen Schaltzeiten und damit hohen Schaltfrequenzen.

Der Schichtaufbau begünstigt einen ökonomischen Aufbau, da die einzelnen Schichten als Funktionsebenen mit vor allem aus der Mikroelektronik bekannten Fertigungstechnologien hergestellt werden können.

Die Schichtstruktur mit dem Lichtstrahl beeinflussenden optischen Anordnungen ermöglicht einen universellen Aufbau je nach den Anforderungen, die an das Bauteil gestellt werden. So können bidirektionale Schaltstrukturen der Form 1 auf 1, 1 auf n, n auf 1 oder n auf n mit ein und derselben Einrichtung realisiert werden. Der oder die plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel sind als Elektrode ausgeführt, so daß bei Platzierung von entsprechend ausgebildeten Gegenelektroden auf den Deckplatten und einer entsprechenden Ansteuerung ein Kippen gewährleistet ist. Ein zusätzlicher Bewegungsmechanismus für den oder die plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel ist nicht nötig.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Patentansprüchen 2 bis 11 angegeben.

Einen einfachen Aufbau der mikromechanischen optischen Schalteinheit mit den Schaltmöglichkeiten 1 auf n, n auf 1 oder n auf n mit n gleich Anzahl der angebrachten Lichtleiter beinhaltet die Weiterbildung des Patentanspruchs 2. Weiterhin besitzt diese Lösung geringe optische Verluste der Lichtstrahlen beim Durchgang. Werden mehrere derartige mikromechanische optische Schalteinheiten in einer Ebene angeordnet, ergibt sich ein kompakter Aufbau mehrerer

mikromechanischer optischer Schalteinheiten, die einzeln oder durch optisches Zusammenschalten im Verbund betrieben werden können.

Die Weiterbildung des Patentanspruchs 3 garantiert einen gleichen Abstand der Lichtleiter zum Prisma.

Ein einfacher und ökonomischer Aufbau unter Nutzung bekannter und ausgereifter Technologien der Mikroelektronik wird in den Weiterbildungen der Patentansprüche 4 bis 6 aufgeführt. Die plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel können sowohl matrixförmig  $p \times p$  als auch in einem beliebigen Verhältnis  $p \times q$  zueinander angeordnet werden, wobei p und q die Anzahl der plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel pro Kante der mikromechanischen optischen Schalteinheit ist. Die Anzahl der plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel bestimmt dabei das Schaltverhältnis 1 auf n, n auf 1 oder n auf n, mit n gleich der Anzahl der mit der mikromechanischen optischen Schalteinheit verkoppelten Lichtleiter. Derartig ausgebildete mikromechanische Schalteinheiten sind leicht stapelbar, so daß durch mindestens eine optische Verbindung der mikromechanischen optischen Schalteinheiten untereinander, die Schaltmöglichkeiten 1 auf n, n auf 1 oder n auf n gegenüber einzeln ausgebildeten mikromechanischen optischen Schalteinheiten wesentlich erhöht wird.

Mit der Anordnung der Schwenkachse der plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel in der Symmetrieachse der Lichtleiter und damit in der Symmetrieachse des Lichtstrahles ergibt sich eine einfache Montage der übereinander angeordneten Ebenen. Dabei befinden sich sowohl die Mittelpunkte der Flächen der sich gegenüberliegenden plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel als auch bei gleichen Abmessungen diese deckungsgleich übereinander. Die Lichtleiter an den Rändern der optischen Schalteinheit sind damit sowohl als Sende- als auch als Empfangselemente der Lichtstrahlen einsetzbar. Korrekturen hinsichtlich der Position des Lichtstrahles zu den einzelnen Lichtleitern entfallen. Bei Anordnung von mehr als zwei Ebenen mit plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegeln ist eine symmetrische Ablenkung der Lichtstrahlen zu den Deckplatten hin gegeben.

Weiterhin sind nur drei Schaltzustände der plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel notwendig, so daß eine Ansteuerung wesentlich erleichtert wird. Die drei Schaltzustände sind durch die Zustände gegeneinander gekippt oder keine Ansteuerung charakterisiert.

Die Anschläge auf den Deckplatten entsprechend der Weiterbildungen der Patentansprüche 7 und 8 erleichtern die Ansteuerung der plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel.

Eine einfache Realisierung der plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel und Torsionsbalken unter Nutzung bekannter und erprobter Technologien der Mikroelektronik ermöglichen die Weiterbildungen der Patentansprüche 9 und 10.

Mit der Weiterbildung des Patentanspruchs 11 ergeben sich automatisch der Schwenkraum der plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel zu den Deckplatten hin, so daß zusätzlich vorzusehende Abstandsrahmen für ein freies Schwenken über einen Winkelbereich von 0 bis 45° nicht notwendig sind. Gleichzeitig verringert sich der Montageaufwand.

Zwei Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden in folgenden näher beschrieben.

Es zeigen:

Fig. 1 Mikromechanische optische Schalteinheit mit einer

einstückig ausgebildeten Optik und einem plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel,

Fig. 2 Draufsicht der in der Fig. 1 dargestellten mikromechanischen optischen Schalteinheit,

Fig. 3 Schalteinheit mit zwei Ebenen und  $3 \times 3$  plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel je Ebene und

Fig. 4 Explosionsdarstellung der Anordnung der Fig. 3.

Ein erstes Ausführungsbeispiel der mikromechanischen optischen Schalteinheit 1 besteht im wesentlichen aus einer einstückig ausgebildeten Optik 3 als erste die Lichtstrahlen beeinflussende Einrichtung in der ersten Ebene und einem plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel 6 als zweite die Lichtstrahlen beeinflussende Einrichtung, die übereinander und zwischen zwei Deckplatten 2a und 2b angeordnet sind (Darstellungen der Fig. 1 und 2).

Die einstückig ausgebildete Optik 3 befindet sich in einem Abstandsrahmen 9. Der Lichtstrahl gelangt über einen von mindestens zwei in einer Ebene angeordneten Lichtleiter 10 an die einstückig ausgebildete Optik 3. Dazu sind die Lichtleiter 10 in Gräben, die sich in einer der Deckplatten 2a und dem Abstandsrahmen 9 korrespondierend zueinander befinden, geführt. Der Abstand der Lichtleiter 10 nimmt in Richtung zu der einstückig ausgebildeten Optik 3 kontinuierlich ab und endet direkt an dieser. Diese Fläche der einstückig ausgebildeten Optik 3 ist kreisförmig zu den Lichtleitern 10 hin gewölbt ausgebildet. Durch diese Maßnahme besitzen die Enden der Lichtleiter 10 den gleichen Abstand zum Mittelpunkt der einstückig ausgebildeten Optik 3.

Diese selbst stellt zum einen ein totalreflektierendes Prisma 4 und zum anderen eine Linse 5 dar. Der Lichtstrahl trifft nach Verlassen einer der Lichtleiter 10 auf das totalreflektierende Prisma 4 und wird an diesem in Richtung der zweiten die Lichtstrahlen beeinflussende Einrichtung mit einem Winkel von  $90^\circ$  abgelenkt. In dieser Richtung ist die Fläche der einstückig ausgebildeten Optik 3 eine Linse 5. Im Brennpunkt dieser Linse 5 ist der plattenförmige und in einer Schwenkachse bewegbare Einzelspiegel 6 angeordnet. Dazu besitzt der Abstandsrahmen 9 eine Öffnung als optischen Übergang 12 von der ersten die Lichtstrahlen beeinflussende Einrichtung zur zweiten die Lichtstrahlen beeinflussende Einrichtung.

Der plattenförmige und in einer Schwenkachse bewegbare Einzelspiegel 6 ist über zwei sich an gegenüberliegenden Kanten mittig angeordneten Torsionsbalken 7 in einem diesen umgebenden Rahmen 8 aufgehängt. Der Rahmen 8 einschließlich des plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegels 6 sind aus einer Siliziumscheibe gefertigt. Der plattenförmige und in einer Schwenkachse bewegbare Einzelspiegel 6 und der Torsionsbalken 7 sind aus einer Opferschicht freigeätzt und der verbleibende Bereich der Siliziumscheibe stellt die Malterung für den plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel 6 selbst dar und dient weiterhin dem Abstand gegenüber der Deckplatte 2b, so daß der plattenförmige und in einer Schwenkachse bewegbare Einzelspiegel 6 gegenüber der Deckplatte 2b frei schwenkbar ist.

Der plattenförmige und in einer Schwenkachse bewegbare Einzelspiegel 6 besitzt eine Fläche von  $3 \times 3 \text{ mm}^2$ . Die Schwenkachse des plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegels 6 steht dabei senkrecht zur Symmetrieachse der gewölbten Fläche der einstückig ausgebildeten Optik 3, an der die Lichtleiter 10 enden. Mit dem Auslenken des plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegels 6 wird der darauf auftreffende Lichtstrahl über die Linse 5 und dem totalreflektierenden Prisma 4 z. B. zu dem neben dem den Lichtstrahl verlassen-

den Lichtleiter 10 geleitet.

Der plattenförmige und in einer Schwenkachse bewegbare Einzelspiegel 6 selbst stellt eine Elektrode dar. Auf der parallel zum plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel 6 angeordneten Deckplatte 2b befinden sich zwei Gegenelektroden 11a und 11b. Diese sind korrespondierend zu den parallel zu der Symmetrieachse der Schwenkachse verlaufenden Kanten des plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegels 6 angeordnet. Mit einer derartigen Anordnung ist dieser elektrostatisch ansteuerbar, so daß er je nach Potential an den Elektroden schwenkbar ist.

Die Elektroden in Form des plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegels 6 und die Gegenelektroden 11a und 11b sind über elektrische Leiterbahnen mit geeigneten an der mikromechanischen optischen Schalteinheit 1 vorhandenen Kontaktstrukturen verbunden, so daß die mikromechanische optische Schalteinheit 1 von außen elektrisch anschließbar ist.

Die anderen Enden der Lichtleiter 10 sind mit optischen Sende- und/oder Empfangseinrichtungen verbunden.

Ein zweites Ausführungsbeispiel der mikromechanischen optischen Schalteinheit 1 zeichnet sich dadurch aus, daß die erste und die zweite Lichtstrahlen beeinflussende Einrichtung aus einer in einer Matrixform angeordneten plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegeln 6 besteht (Fig. 3 und 4).

Eine Matrix beinhaltet in diesem Ausführungsbeispiel drei mal drei plattenförmige und in einer Schwenkachse bewegbare Einzelspiegel 6. Diese sind in einem sie umgebenden Rahmen 9 und zwei parallel verlaufenden Stegen 13 aufgehängt. Dabei befinden sich jeweils drei plattenförmige und in einer Schwenkachse bewegbare Einzelspiegel 6 zwischen Rahmen 8 und Steg 13 oder zwischen zwei Stegen 13 hintereinander. Der freie Raum zwischen den plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegeln 6 stellt gleichzeitig den optischen Übergang dar. Die Abstände der plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel 6 zueinander sind gleich. Der plattenförmige und in einer Schwenkachse bewegbare Einzelspiegel 6 selbst ist über an zwei sich gegenüberliegenden Kanten mittig angebrachten Torsionsbalken 7 mit dem Rahmen 8 oder den Stegen 13 verbunden. Die Größe eines plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegels 6 beträgt  $1,4 \times 1,4 \text{ mm}^2$  bei einer Dicke von 30  $\mu\text{m}$ . Die gesamte Matrix ist Teil einer Siliziumscheibe, wobei die plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel 6 einschließlich der Torsionsbalken 7 Teile einer Opferschicht darstellen und freigeätzt sind. Die den plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel 6 umgebenden Teile der Siliziumscheibe stellen den Rahmen 8 und die Stege 13 dar und bilden gleichzeitig Teile der Abstandsrahmen 9.

Zwei derartig ausgebildete Matrizen sind mit einem zusätzlich dazwischen angeordneten Abstandsrahmen 9 so angeordnet, daß sich die Symmetrielinien der Schwenkachsen der plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel 6 rechtwinklig zueinander befinden und sich jeweils zwei plattenförmige und in einer Schwenkachse bewegbare Einzelspiegel 6 deckungsgleich gegenüberstehen.

Weitere Abstandsrahmen befinden sich zwischen den zusammengefüigten Matrizen und jeweils über den plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegeln 6 angeordneten Deckplatten 2a und 2b. Die Abstandsrahmen können entfallen, wenn die Deckplatten 2a und 2b jeweils entsprechende Vertiefungen aufweisen, so daß die plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel über einen Winkelbereich von 0 bis minde-

stens 45° frei geschwenkt werden können. Die Rahmen oder die Deckplatten 2a und 2b besitzen korrespondierend zueinander angeordnete Gräben, in denen die Enden von Lichtleitern 10 mit daran angebrachten Gradientenindexlinsen 14 platziert sind.

Die Symmetrieachsen der Lichtleiter 10 befinden sich rechtwinklig zu den Symmetrieachsen der Schwenkachsen der plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel 6 und sind weiterhin in der Symmetrieachse des Lichtleiters 10 platziert. Der Lichtstrahl besitzt einen Durchmesser von 0,8 bis 1,0 mm und der plattenförmige und in einer Schwenkachse bewegbare Einzelspiegel 6 ist 30 µm dick, so daß bei Durchlaufen des Lichtstrahls bei nichtausgelenktem plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel 6 dessen Dicke ausgeblendet wird. Diese Dämpfung des Lichtstrahles ist insgesamt vernachlässigbar.

Mit einem derartigen Aufbau der Matrizen sind je Kante drei Lichtleiter 10 und damit insgesamt zwölf Lichtleiter 10 an die mikromechanische optische Schalteinheit 1 anschließbar und damit schalt-, misch- oder entmischbar.

Die anderen Enden der Lichtleiter 10 sind mit optischen Send- und/oder Empfangseinrichtungen verbunden.

Die plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel 6 sind als Elektroden ausgeführt. Auf den Deckplatten 2a und 2b befinden sich pro plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel 6 zwei Gegenelektroden 11a und 11b. Diese sind korrespondierend zu den parallel zu der Symmetrieachse der Schwenkachse verlaufenden Kanten des plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegels 6 angeordnet. Mit einer derartigen Anordnung sind diese elektrostatisch ansteuerbar, so daß die plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel 6 je nach dem anliegendem Potential schwenkbar sind.

Die Elektroden in Form der plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel 6 und die Gegenelektroden 11a und 11b sind über elektrische Leiterbahnen mit geeigneten an der mikromechanischen optischen Schalteinheit 1 vorhandenen Kontaktstrukturen verbunden, so daß die mikromechanische optische Schalteinheit 1 elektrisch von außen kontaktierbar ist.

#### Patentansprüche

1. Mikromechanische optische Schalteinheit, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen zwei Deckplatten (2a) und (2b) eine erste und mindestens eine zweite Lichtstrahlen beeinflussende Einrichtung je in einer Ebene übereinander angeordnet sind, daß die zweite Lichtstrahlen beeinflussende Einrichtung mindestens ein plattenförmiger und in einer Schwenkachse bewegbarer Einzelspiegel (6) ist, daß sich zwischen der ersten und der zweiten Lichtstrahlen beeinflussenden Einrichtung ein Abstandsrahmen (9) befindet, daß zwischen der ersten und der zweiten Lichtstrahlen beeinflussenden Einrichtung im Bereich zu dem mindestens einen plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel (6) hin die gleiche Anzahl optisch freier Übergänge (12) vorhanden sind, daß in die Deckplatten (2a) und (2b), in dem Abstandsrahmen (9) und/oder in den Ebenen der ersten und zweiten Lichtstrahlen beeinflussenden Einrichtungen Gräben so eingebracht sind, daß in diesen Lichtleiter platziert sind, daß der plattenförmige und in einer Schwenkachse bewegbare Einzelspiegel (6) als Elektrode ausgebildet ist und daß sich mindestens auf der parallel zum plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzel-

spiegel (6) zwei parallel zu den Spiegelkanten angeordnete Elektroden (11a) und (11b) befinden.

2. Mikromechanische optische Schalteinheit nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Lichtstrahlen beeinflussende Einrichtung mindestens eine einstückig ausgebildete Optik (3) in Form eines Prismas (4) mit integrierter Linse (5) ist, daß mindestens zwei Enden von in Gräben geführten Lichtleitern (10) an der einstückig ausgebildeten Optik (3) enden, daß sich rechtwinklig zu den Lichtleitern (10) und zur zweiten Lichtstrahlen beeinflussenden Einrichtung hin die Linse (5) befindet, daß im Strahlengang die zweite Lichtstrahlen beeinflussende Einrichtung in Form des plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegels (6) so angeordnet ist, daß sich die Schwenkachse in der Symmetrieachse der Lichtleiter (10) befindet, daß der plattenförmige und in einer Schwenkachse bewegbare Einzelspiegel (6) eine Elektrode darstellt und daß sich parallel dazu verlaufende Gegenelektroden (11a) und (11b) pro parallel zur Symmetrieachse der Schwenkachse vorhandener Kante des plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegels (6) auf der dazu parallel angeordneten Deckplatte (11b) befindet.

3. Mikromechanische optische Schalteinheit nach Patentanspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die einstückig ausgebildete Optik zum Lichtleiter nach außen gewölbt ausgebildet ist und daß der Abstand der Gräben zueinander zur einstückig ausgebildeten Optik kontinuierlich abnimmt.

4. Mikromechanische optische Schalteinheit nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Lichtstrahlen beeinflussende Einrichtung aus mindestens einer Anordnung, bei der zwischen zwei sich gegenüberliegenden Enden von lichtleitenden Einrichtungen ein plattenförmiger und in einer Schwenkachse, die rechtwinklig zum Strahlengang verläuft, bewegbarer Einzelspiegel (6) so angeordnet ist, daß sich die Symmetrieachsen des Lichtstrahles und der Schwenkachse des plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegels (6) in einer Ebene befinden, besteht, daß die zweite Lichtstrahlen beeinflussende Einrichtung mindestens eine gleichartige Anordnung ist, daß diese um 90° gegenüber der ersten in der Ebene so gedreht angeordnet ist, daß sich die Mittelpunkt der plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel (6) in einer Symmetrieachse und die nichtausgelenkten plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel (6) parallel zueinander befinden, daß die sich an den Rändern befindenden lichtleitenden Einrichtungen in Form von Lichtleitern (10) über Gradientenindexlinsen (14) mit Send- und/oder Empfangseinrichtungen optisch verbunden sind, daß sich zwischen der ersten und der zweiten Lichtstrahlen beeinflussenden Einrichtung ein Abstandsrahmen (9) befindet, daß sich die erste und die zweite Lichtstrahlen beeinflussende Einrichtung zwischen zwei Deckplatten (2a) und (2b) befinden, daß die plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel (6) Elektroden darstellen, daß parallel dazu verlaufende Gegenelektroden (11a) und (11b) pro parallel zur Symmetrieachse der Schwenkachse vorhandener Kante des plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegels (6) auf den Deckplatten (2a) und (2b) angeordnet sind und daß der Abstandsrahmen (9) und die Deckplatten (2a) und (2b) Gräben für die lichtleitenden Einrichtungen enthalten.

5. Mikromechanische optische Schalteinheit nach Pa-

tentanspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Anordnungen, bei der zwischen zwei sich gegenüberliegenden Enden von lichtleitenden Einrichtungen ein plattenförmiger und in einer Schwenkachse, die rechtwinklig zum Strahlengang verläuft, bewegbarer Einzelspiegel (6) so angeordnet ist, daß sich die Symmetrieachsen des Lichtstrahles und der Schwenkachse des plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegels (6) in einer Ebene befinden, in Reihe und parallel angeordnet sind und daß die sich an den Rändern befindenden Lichtleiter (10) über Gradientenindexlinsen (14) mit Sende- und/oder Empfangseinrichtungen optisch verbunden sind.

6. Mikromechanische optische Schalteinheit nach Patentanspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die gleiche Anzahl von Anordnungen, bei der zwischen zwei sich gegenüberliegenden Enden von lichtleitenden Einrichtungen ein plattenförmiger und in einer Schwenkachse, die rechtwinklig zum Strahlengang verläuft, bewegbarer Einzelspiegel (6) so angeordnet ist, daß sich die Symmetrieachsen des Lichtstrahles und der Schwenkachse des plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegels (6) in einer Ebene befinden, pro erster und zweiter Lichtstrahlen beeinflussender Einrichtung vorhanden und daß die sich an den Rändern befindenden Lichtleiter (10) über Gradientenindexlinsen (14) mit Sende- und/oder Empfangseinrichtungen optisch verbunden sind.

7. Mikromechanische optische Schalteinheit nach Patentanspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß sich Anschläge auf den Deckplatten (2a) und (2b) korrespondierend zu den parallel zur Schwenkachse verlaufenden Kanten der plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel (6) befinden.

8. Mikromechanische optische Schalteinheit nach Patentanspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Höhe der Anschläge gleich dem Abstand der parallel zu der Schwenkachse verlaufenden Kanten der plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel (6) in mit einem Winkel von  $45^\circ$  gegenüber den Deckplatten (2a) und (2b) gekippten Zuständen und den Deckplatten (2a) und (2b) ist.

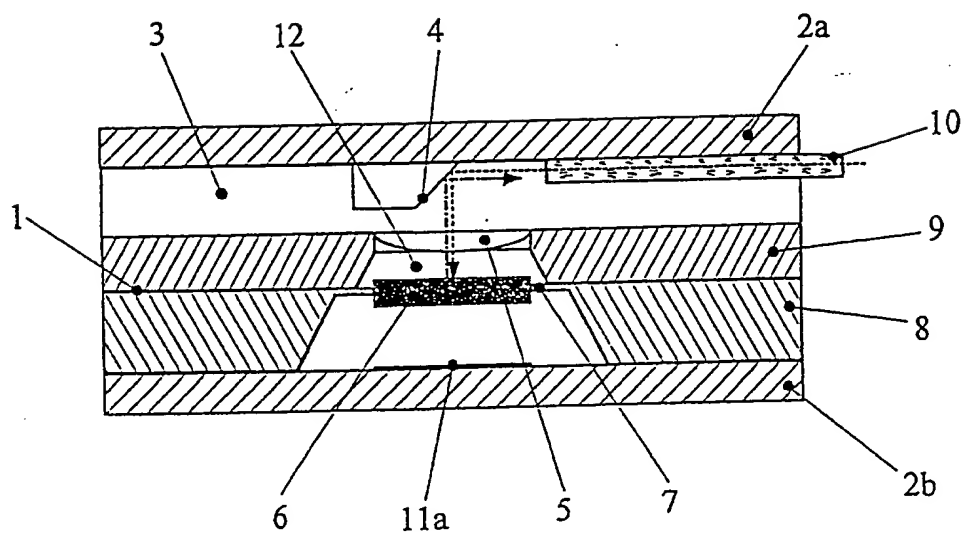
9. Mikromechanische optische Schalteinheit nach den Patentansprüchen 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der plattenförmige und in einer Schwenkachse bewegbare Einzelspiegel (6) über zwei sich an gegenüberliegenden Kanten mittig angeordneten Torsionsbalken (7) mit einem den plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel (6) umgebenden Rahmen (8) verbunden ist oder daß die plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel (6) über zwei sich an gegenüberliegenden Kanten mittig angeordneten Torsionsbalken (7) mit parallel angeordneten Stegen (13) verbunden sind.

10. Mikromechanische optische Schalteinheit nach Patentanspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der oder die plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel (6), die Torsionsbalken (7), der Rahmen (8) und die parallel angeordneten Stege (13) ein mit Schichten versehene und strukturierte Halbleiterscheibe ist.

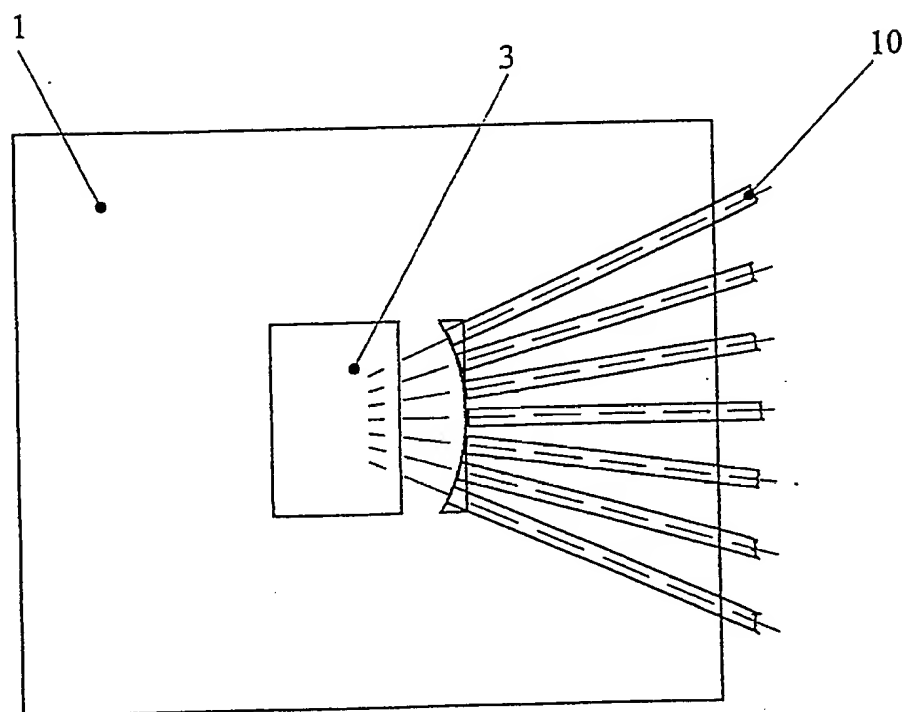
11. Mikromechanische optische Schalteinheit nach Patentanspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Rahmen eine Opferschicht der Halbleiterscheibe ist und daß der oder die plattenförmigen und in einer Schwenkachse bewegbaren Einzelspiegel (6) und die

Torsionsbalken (7) Teile der Opferschicht sind.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

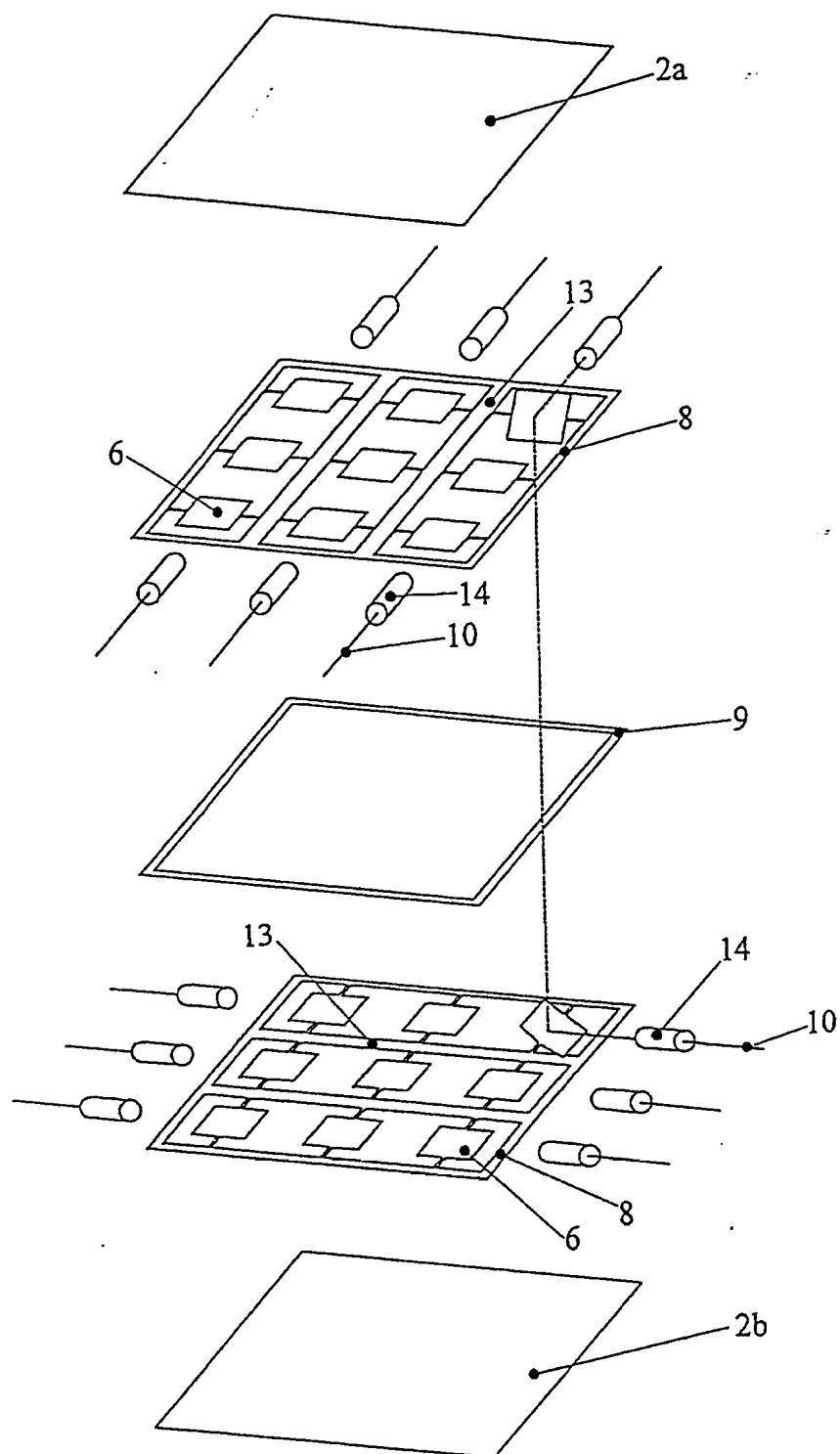


Figur 1

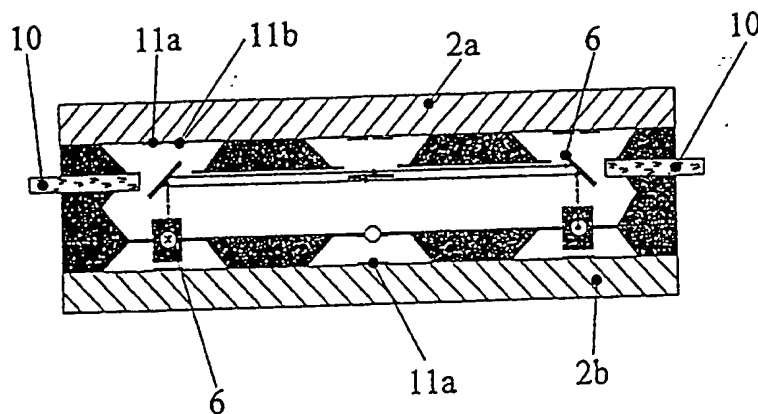


Figur 2





Figur 3



Figur 4